TREFILAÇÃO

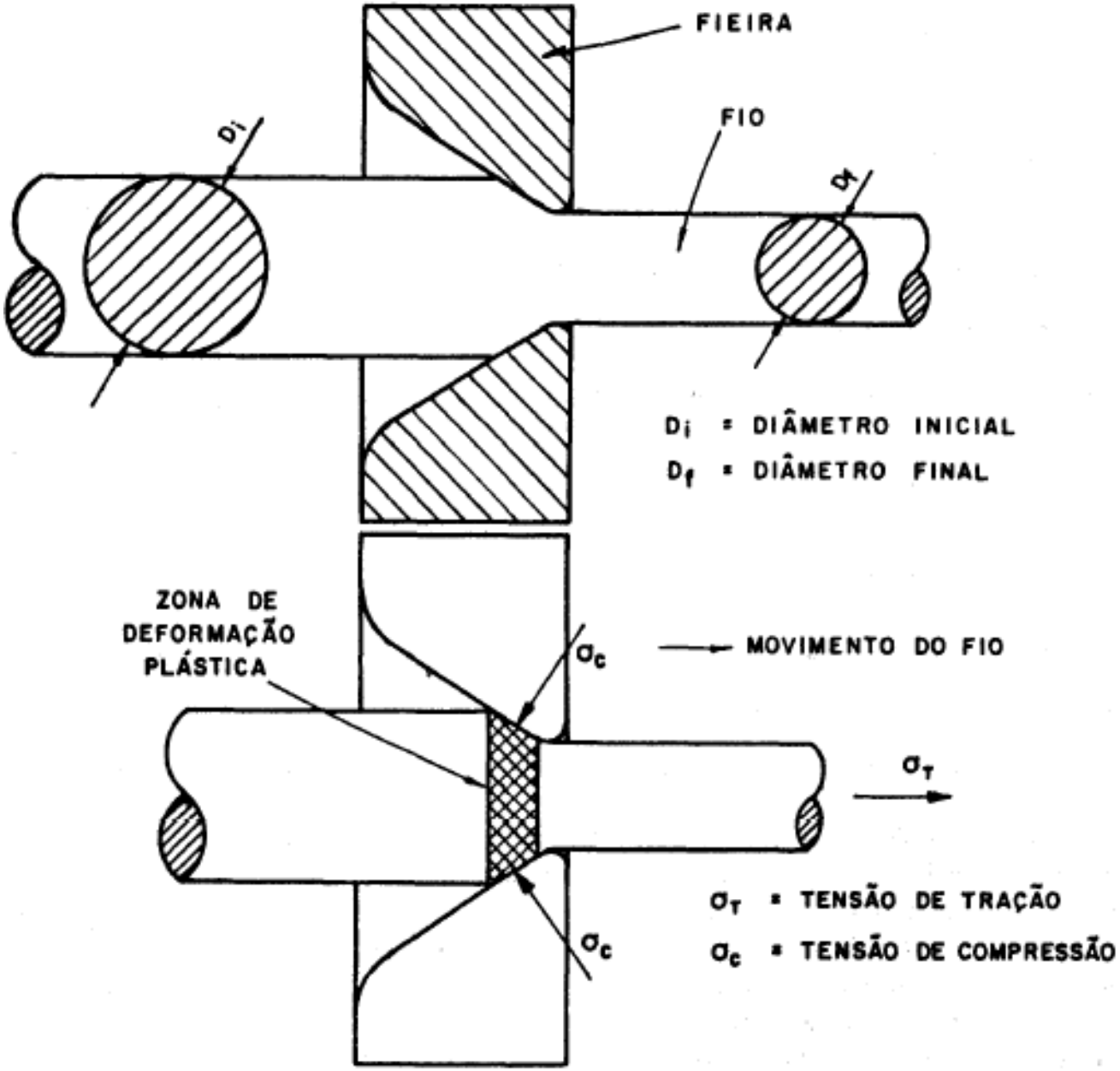
Prof. M.Sc.: Anael Krelling

O processo de trefilação consiste em fazer passar o material através de uma ferramenta, utilizando-se uma força de tração aplicada na saída da matriz. Apesar das forças aplicadas serem de tração, as forças que efetivamente promovem a conformação são compressivas, resultantes da reação entre a matriz e o material.

O processo de trefilação é sempre realizado a frio, mas deve-se considerar que existe um certo aumento de temperatura durante a operação, em função tanto das deformações internas sofridas pelo material bem como pelo atrito gerado entre o material e a superfície da ferramenta. Apesar disto esta temperatura não afeta as propriedades do material.

Como a trefilação é feita a frio sofre o efeito de encruamento, tornando-se mais duros e resistentes. Combinado com o tratamento térmico adequado pode-se obter resistências mecânicas de até 3000 MPa. O processo de trefilação reduz o material a um diâmetro que não se pode conseguir com outro processo.

TREFILAÇÃO


FIEIRA
FIO
D_i
D_f
D_i = DIÂMETRO INICIAL
D_f = DIÂMETRO FINAL
ZONA DE DEFORMAÇÃO PLÁSTICA
σ_c
MOVIMENTO DO FIO
σ_T
σ_c
σ_T = TENSÃO DE TRAÇÃO
σ_c = TENSÃO DE COMPRESSÃO

O processo de trefilação é utilizado para a fabricação dos seguintes produtos:

•Barras maciças assimétricas;
•Vergalhões;
•Arames;
•Fios;
•Tubos.

Os materiais que tradicionalmente são fabricados pelo processo de trefilação são:

•Ligas de aços, com carbono desde 0,08 até 1,00%;
•Ligas de cobre;
•Ligas de alumínio;

Os materiais normalmente utilizados para trefilação, ou seja, os materiais de partida, são:

•Peças pré-fabricadas;
•Produtos laminados = barras, tubos, fio máquina, etc;
•Produtos extrudados = barras, tubos, etc;

VANTAGENS E LIMITAÇÕES DO PROCESSO

As principais vantagens do processo de trefilação são:

PRECISÃO DIMENSIONAL = detém dimensões mais uniformes e grande precisão dimensional, podendo chegar até a centésimos de milímetro;
ACABAMENTO SUPERFICIAL = obtenção de superfícies mais perfeitas, com baixa rugosidade superficial;
PROPRIEDADES MECÂNICAS = por ser laminado a frio é possível de ser obtidas melhores propriedades mecânicas que o simplesmente laminados;

A principal limitação do processo é:

O processo de trefilação é pouco versátil, permitindo a obtenção somente de itens com seções aproximadamente circulares (circulares, ovalizadas, sextavadas, etc). Seções mais complexas tenderiam a se deformar durante a conformação, perdendo tanto a forma como a precisão, pois o material é tracionado e não empurrado, como no caso da extrusão.

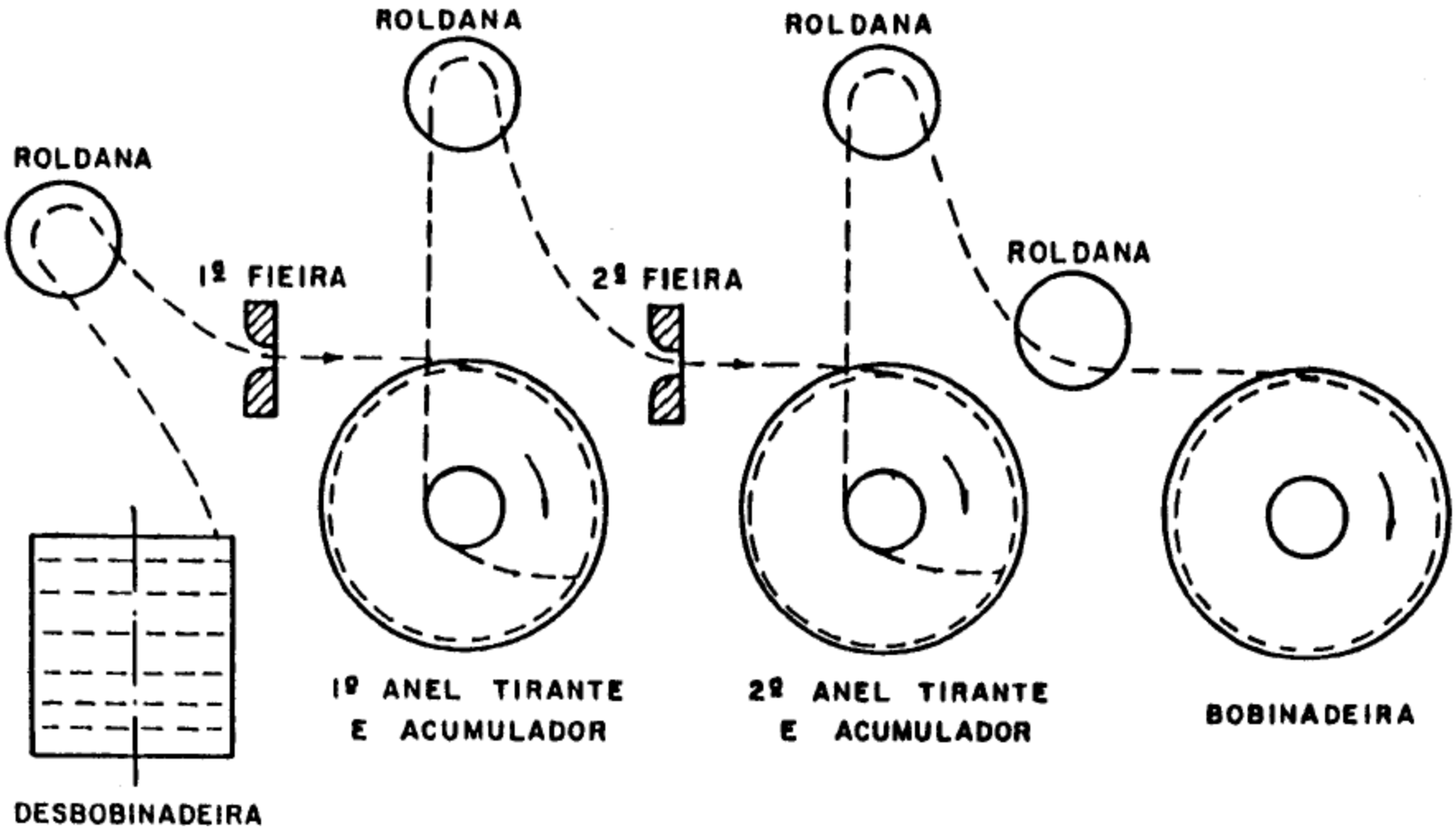
MÁQUINAS DE TREFILAR

MÁQUINAS DE TREFILAR SEM DESLIZAMENTO

Contém um sistema de tração do fio, para conduzi-lo através do furo da fieira, constituído de um anel tirante que primeiro acumula fio trefilado para depois permitir o seu movimento em direção a uma segunda fieira. Nesta, o fio passa por um segundo anel tirante que também acumula fio trefilado.

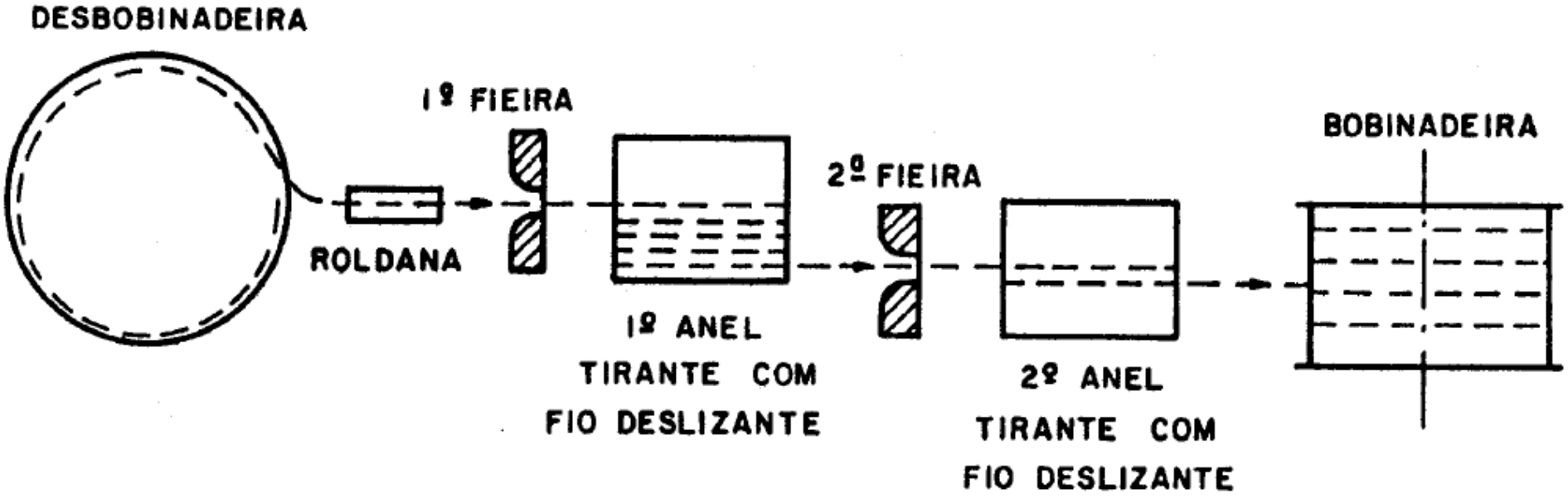
Devido ao aumento do comprimento do fio após a passagem por cada fieira, as velocidades dos anéis são diferentes e de valor crescente, para a compensação desse aumento de comprimento. Essas diferenças de velocidades nem sempre são atingidas com precisão, o que torna necessário a acumulação do fio nos anéis para atuar como reserva de fio.

TREFILAÇÃO


ROLDANA
ROLDANA
ROLDANA
ROLDANA
1º FIEIRA
2º FIEIRA
1º ANEL TIRANTE
E ACUMULADOR
2º ANEL TIRANTE
E ACUMULADOR
BOBINADEIRA
DESBOBINADEIRA

MÁQUINAS DE TREFILAR COM DESLIZAMENTO

Para a trefilação de fios metálicos de pequenos diâmetros, as máquinas com deslizamento são as mais utilizadas.



a) O fio parte de uma bobina, passa por uma roldana e se dirige alinhado á primeira fieira;

b) Na saída da fieira o fio é tracionado por um anel tirante, no qual dá certo número de voltas, em forma de hélice cilíndrica de passo igual ao diâmetro do fio, de tal modo que no início da hélice o fio fique alinhado com a primeira fieira e no fim da hélice com a segunda fieira;

c) O movimento do fio na forma de hélice provoca o seu deslizamento lateral no anel;

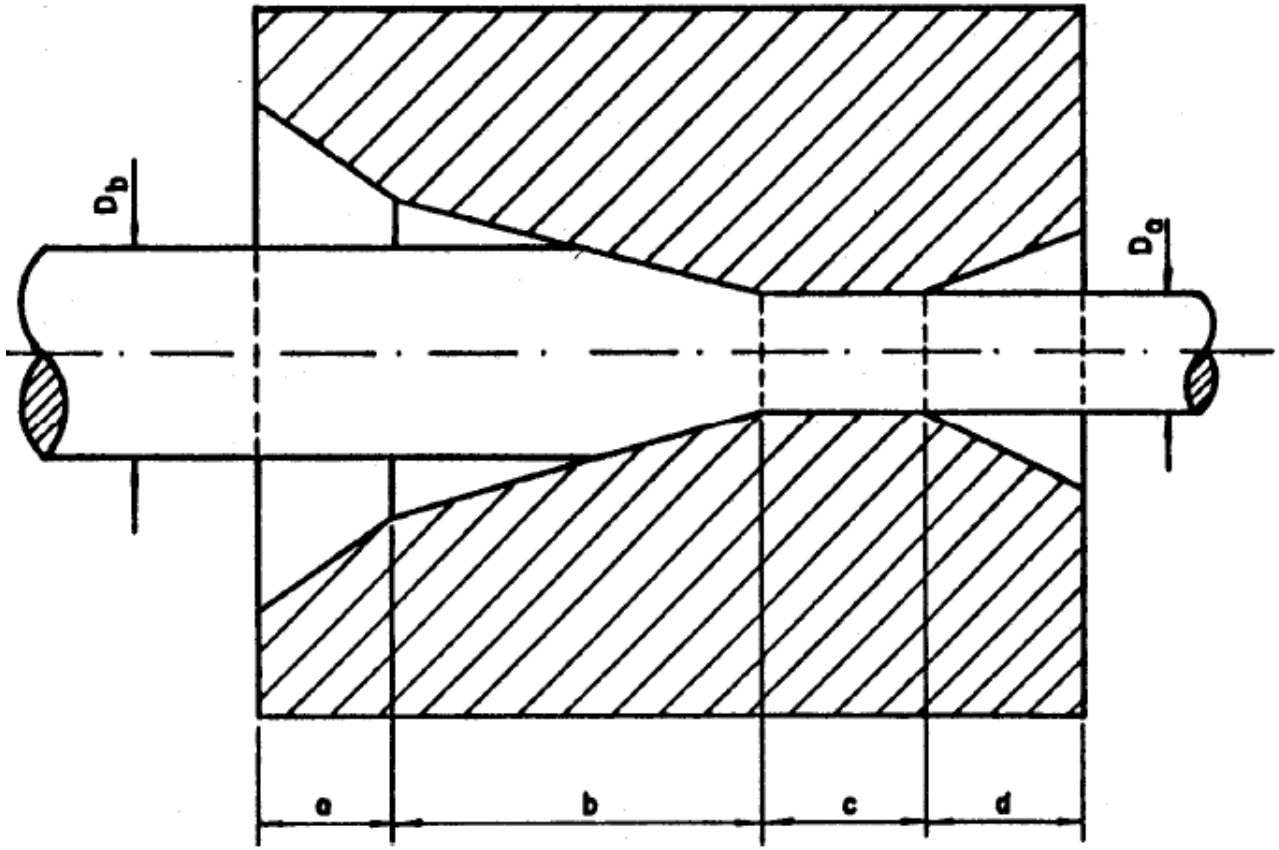
d) O segundo anel faz o fio passar pela segunda fieira, porém girando a uma velocidade maior do que a do primeiro anel, para compensar o aumento do comprimento do fio;

e) O sistema prossegue dessa forma para as demais fieiras e anéis.

Na operação final de bobinamento deve-se fazer variar continuamente a velocidade angular do carretel para cada camada de fio enrolado, pois a velocidade periférica deve ser mantida constante. Esse controle de velocidade tem que ser muito parecido para os fios finos (diâmetros menores de 1,5mm), pois as variações de velocidades são muito pequenas. Além do controle da velocidade variável para cada camada, deve-se ainda controlar a colocação do fio em cada camada com um movimento de velocidade lateral constante, de acordo com cada diâmetro de fio trefilado a ser bobinado.

FERRAMENTAS DE TREFILAÇÃO

A fieira, ou ferramenta de trefilar, é constituída de quatro regiões distintas, ao longo do furo interno.

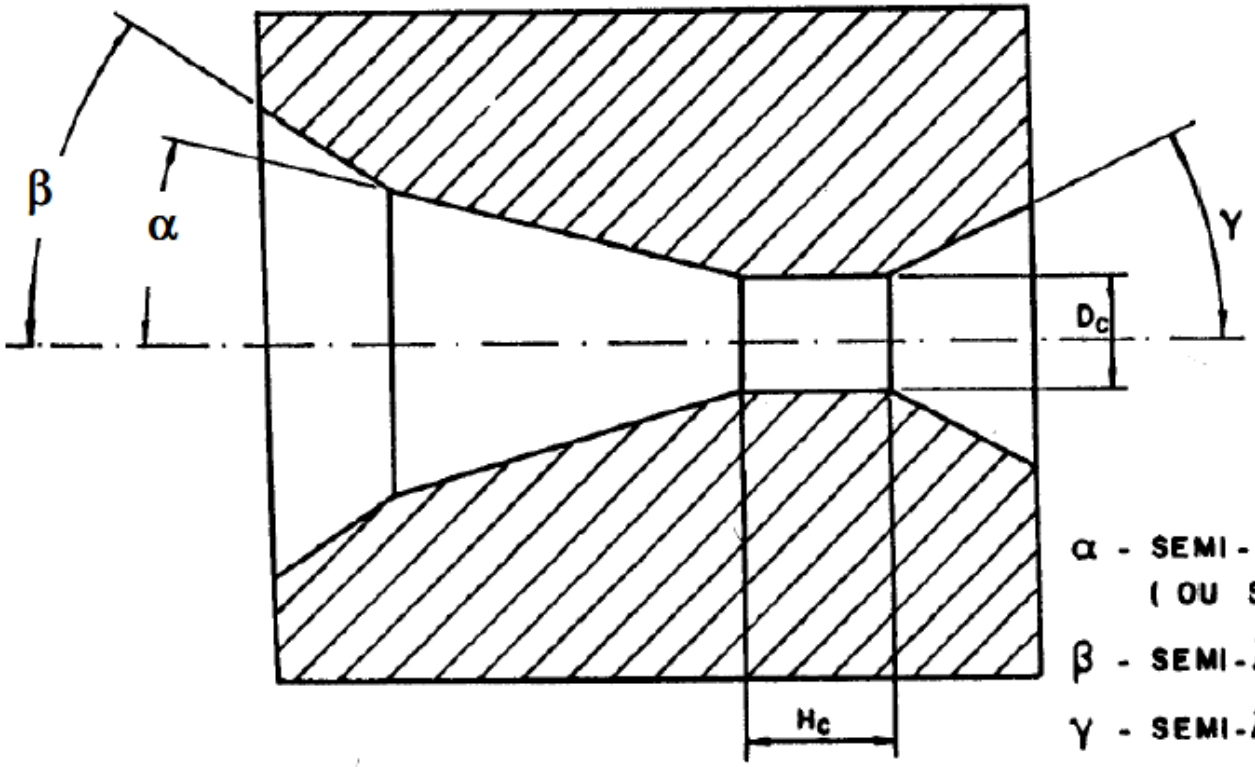


a) Cone de entrada

b) Cone de trabalho

c) Cilindro de calibração

d) Cone de saída



α - SEMI-ÂNGULO DO CONE DE TRABALHO (OU SEMI-ÂNGULO DA FIEIRA)

β - SEMI-ÂNGULO DE ENTRADA

γ - SEMI-ÂNGULO DE SAÍDA

H_c - ALTURA DO CILINDRO DE CALIBRAÇÃO

D_c - DIÂMETRO DO CILINDRO DE CALIBRAÇÃO

O cone de entrada tem a finalidade de guiar o fio em direção ao cone de trabalho e permitir que o lubrificante acompanhe o fio e contribua na redução do coeficiente de atrito.

No cone de trabalho ocorre a redução, sendo, portanto, a região onde é aplicada ao fio o esforço de compressão.

No cilindro de calibração ocorre o ajuste do diâmetro do fio: é objeto de controle a altura desse cilindro, pois, quando essa altura é pequena, facilita as operações de retificação das fieiras gastas.

O cone de saída deve proporcionar uma saída livre do fio sem causar danos nas superfícies da fieira e do fio.

EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO

Em relação à condição de tratamento térmico os aços trefilados podem ser fornecidos nas seguintes condições:

•**TREFILADOS:** fornecidos no estado bruto, na forma com que foram trefilados. Apresenta certa resistência mecânica e dureza, associada ao encruamento sofrido durante a deformação.

•**RECOZIDOS:** são aços que foram recozidos para eliminar a estrutura encruada. Apresentam elevada ductilidade. Típico em aço de baixo carbono ou aço ligado que ainda será conformado (Ex: aço mola)

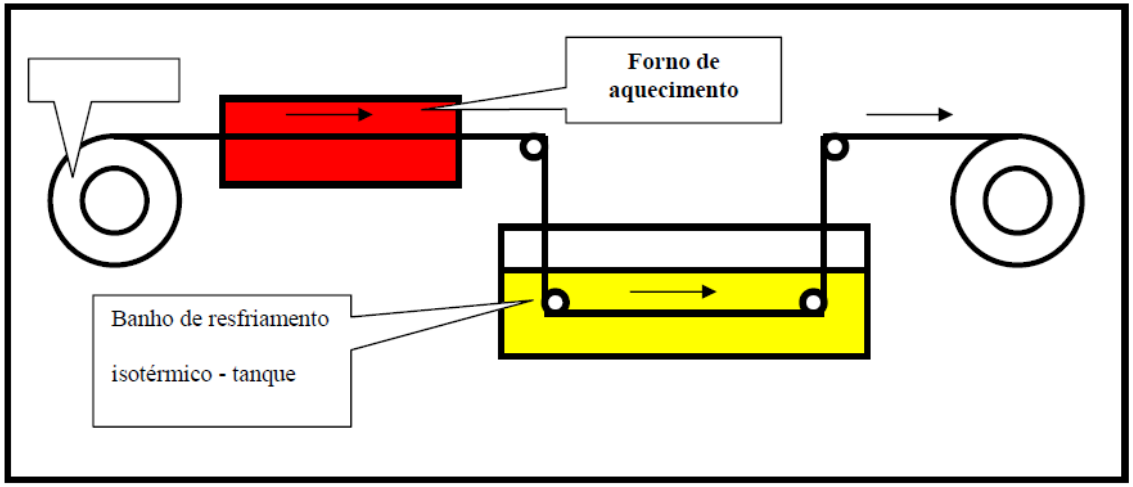
•**TEMPERADOS E REVENIDOS:** alguns aços de médio e alto carbono, ou ligados, são temperados e revenidos para obtenção de uma estrutura martensita revenida, muito mais resistentes e principalmente apresentam um campo elástico amplo, típico em aços molas onde se deseja uma elevada tensão de escoamento.

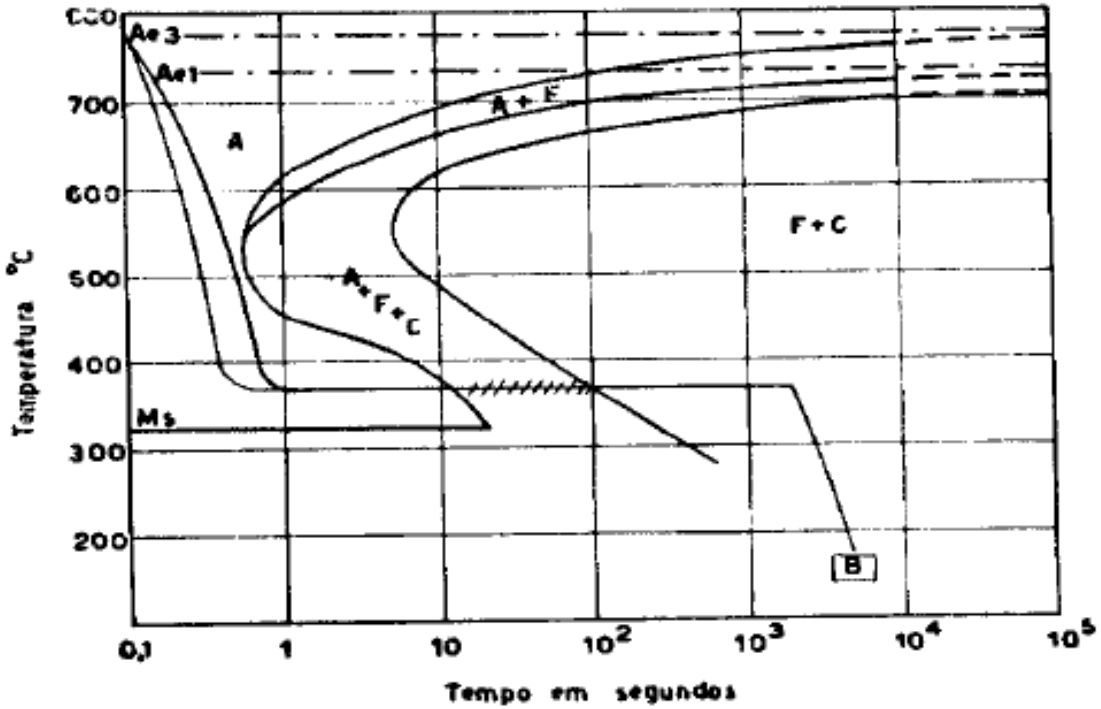
•**PATENTEADOS:** o patenteamento é um processo de tratamento térmico tipicamente utilizado para a fabricação de aços de médio e elevado carbono, ligados ou não. O objetivo é obter uma estrutura formada por perlita fina que oferece uma melhor combinação entre a resistência mecânica e a ductilidade, como em fios para fabricação de cabos de aço ou fio música. O processo consiste nas seguintes etapas:

AQUECIMENTO = realizado acima da temperatura crítica, para promover uma completa recristalização em um forno de atmosfera controlada, de forma contínua;

RESFRIAMENTO = realizado em banho de chumbo fundido, a uma taxa controlada, até aproximadamente 300 ^{o}C, afim de se conseguir uma transformação isotérmica.

TREFILAÇÃO


Forno de aquecimento
Banho de resfriamento isotérmico - tanque


Ae3
Ae1
A
A + F
F + C
A + F + C
Ms
B
700
600
500
400
300
200
Temperatura °C
0,1
1
10
10²
10³
10⁴
10⁵
Tempo em segundos

TIPO DE AÇO	TEOR DE CARBONO (%)	ESTADO	APLICAÇÕES
BAIXO CARBONO	0,08 a 020	Sem tratamento térmico, no estado encruado	Eletrodos de solda, pregos, pinos e peças conformadas a partir de arames (RT 500 a 1000 MPa).
		Recozido ou normalizado	Arames lisos e farpados, arames para telas, parafusos, rebites, etc.
MÉDIO CARBONO	0,20 a 0,50	Recozido	Parafusos que serão posteriormente temperados e revenidos.
		Patenteado e trefilado	Cabos, molas de pequena responsabilidade.
ALTO CARBONO	0,60 a 1,00	Sem tratamento térmico	Eletrodos de solda, arruelas de pressão que serão posteriormente temperadas e revenidas, etc
		Patenteado e trefilado	Fio ou corda de piano ou de música, cabos de para serviço pesado, tirantes e outras aplicações estruturais de responsabilidade, molas, etc.

LUBRIFICAÇÃO

A lubrificação no processo de trefilação é fundamental e necessária, no sentido de:

•Reduzir o atrito entre a fieira e o material que está sendo trefilado;
•Reduzir a força de trefilação;
•Melhorar a produtividade do processo;
•Reduzir o desgaste da fieira, aumentando sua vida útil;
•Melhorar o acabamento e a precisão dimensional do material;

A lubrificação pode ser feita através das seguintes maneiras:

VIA SECA = são utilizados graxas, pó de sabão ou estearato de zinco;
VIA ÚMIDA = são utilizados óleos especiais, sebo ou sabão. Neste caso a matriz fica toda imersa num fluido lubrificante.

Em geral, o processo de trefilação utiliza taxa de conformação elevadas, ainda mais no processo de arames finos. Nestes casos, o desempenho dos lubrificantes torna-se essencial para atingir a qualidade do produto final. O atrito presente no processamento é responsável pela geração de calor, especialmente para a trefilação de materiais abaixo da temperatura de recristalização, quando a quantidade de energia de deformação transformada e dissipada sob a forma de calor pode chegar a cerca de 90%.

Uma expressão simples para a estimativa do aumento de temperatura devido à energia de deformação pode ser calculada por:

$$\Delta T = \overline{Y} \cdot \left(\frac{1}{c_P \cdot \rho} \right) \cdot \ln \frac{A_i}{A_f}$$

Onde:

ΔT = incremento de temperatura (K)

Y = limite médio de resistência do material (MPa)

c_p = calor específico do material

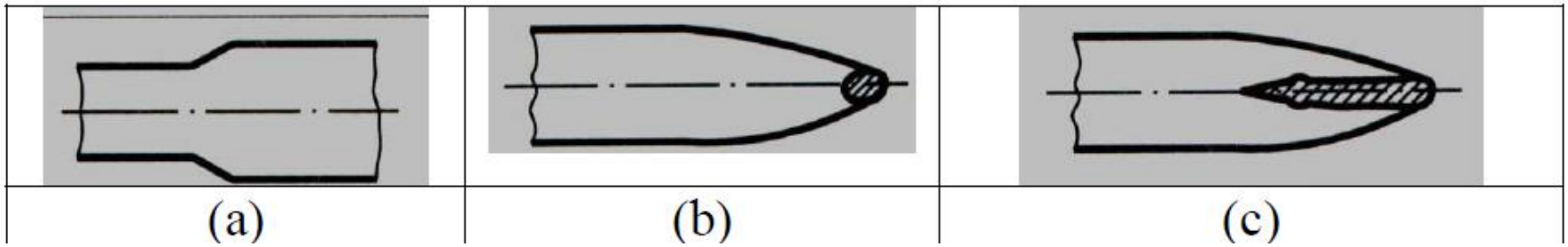
ρ = densidade do material (kg/m^3)

Ai e Af = seção inicial e final (m^2)

A equação não considera os efeitos da taxa de conformação nem da extração de calor pelo lubrificante ou por um sistema de resfriamento externo qualquer.

DEFEITOS TÍPICOS DE PRODUTOS TREFILADOS

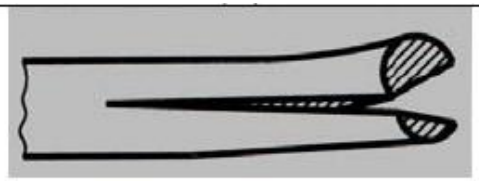
Os produtos trefilados podem ainda apresentar os seguintes defeitos, principalmente fraturas, como mostrados abaixo:



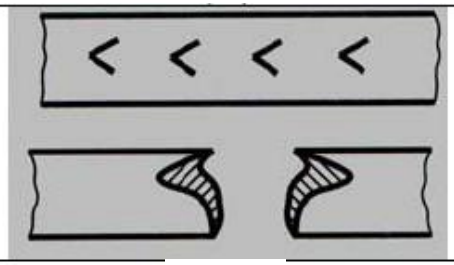
a) *diâmetro escalonado*: causado por partículas duras retidas na fieira e que se são desprendidas após o processo;

b) *Fratura irregular com estrangulamento:* causada pelo esforço excessivo devido à lubrificação ineficiente, excesso de espiras no anel tirante, anel tirante com aspecto rugoso ou com diâmetro irregular, redução excessiva;

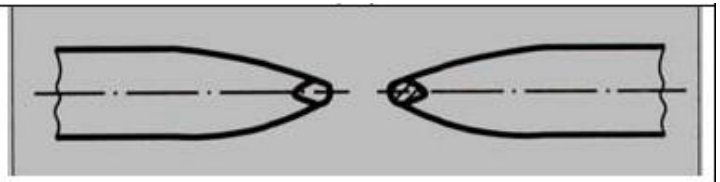
c) *Fratura com risco lateral ao redor da marca de inclusão:* causada por partícula dura no interior do fio inicial proveniente da laminação ou extrusão;



d)



e)



f)

d) *Fratura com trinca:* causada por trincas de laminação e geralmente aberta em duas partes;

e) *Marcas em V ou fratura em ângulo:* causadas pela redução grande e parte cilíndrica pequena com inclinação do fio na saída; ruptura de parte da fieira com inclusão de partículas no contato fio-fieira; inclusão de partículas duras;

f) *Ruptura em forma de taça-cone:* causada pela redução pequena e ângulo de fieira muito grande, com acentuada deformação da parte central.